

KARSTMORPHOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN IM GEBIRGE AGGTELEK (NORDUNGARN)

G. MEZŐSI — I. BÁRÁNY — I. TÓTH

Die Untersuchung der Karstkorrosion im Mikro- und Mesoraum lieferte auch bisher eine Reihe neuer Ergebnisse JAKUCS, 1971; BÁRÁNY—MEZŐSI, 1977/a, 1977/b. Die Lösung der inhaltlich neuartigen Aufgaben (z.B. Beziehung der Wirkungskomponenten, der Faktoren der Karstkorrosion) erfordert auch methodisch neue Mittel. Jedes von ihnen hat die grundlegende Aufgabe, das Relief genau zu vermessen, es quantitativ und morphometrisch zu analysieren, zu qualifizieren. Für die morphometrische Beschreibung der Karstformen ist aber das frühere, von HORTON, STRAHLER usw. ausgearbeitete System nicht mehr geeignet, dies letztere gründet sich nämlich auf der nach Ordnung durchgeführten Klassifizierung der Wasserabflüsse eines gegebenen Gebietes. Einerseits wegen des spärlichen Wasser-netzes der Karstgebiete auf der Oberfläche, andererseits wegen der Unbestimm-barkeit der Ordnungszahlen, der Wasserlaufdichte der Wassersysteme unter der Oberfläche (bisher gibt es sehr wenig Angaben darüber) und wegen ihrer anderen Spezifika dürfen die morphometrischen Verhältnisse des Karstes auf die obener-wähnte Weise nicht untersucht werden. Die Verfahren mußten den Bedürfnissen nach verändert werden (WILLIAMS, 1966, 1972; LA VALLE, 1967, 1968). Bei der morphometrischen Analysierung, insbesondere im Falle von Kleinformen, ist die Geländeuntersuchung sehr wichtig. (Die genaue Bestimmung der Wasserschlinger, Dolinen und deren genetischer Typen kann nur mit großem Fehlerprozent aufgrund der topologischen Karte durchgeführt werden). Unsere Untersuchungen wurden im Gebiet des Gebirges Aggtelek in Nordungarn vorgenommen. Im Mittelpunkt unserer Arbeit stand die quantitative Analyse der geschlossenen Depressionen. Die für die Erklärung der allgemeinen karstgenetischen Fragen geeigneten Methoden werden von uns nur skizzenhaft behandelt (Abb. 1.).

Der morphometrischen Analysierung eines Gebietes geht die geologische Vermessung voran. Wir geben genau die Größe des Karstgebietes (A_1) an und bestimmen die Stelle der Wasserschlinger. Aufgrund der in die Wasserschlinger einmündenden Bächer (L_1) im Karstgebiet nach Ordnung von Strahler werden auch die Wasserschlinger und die Wasserspeicherbecken nach Ordnung Klassifiziert (S_1, S_2 usw.). So bekommen wir eine Serie von Becken (Abb. 2.) verschiedener Ordnung, dem Karstrand angepaßt. Den Wasserschlängern schließt sich so ein nicht karsthaltiger Wasserspeicher verschiedenen Gebietes an. Diese nicht karsthaltigen Wasserspeicher haben eine entscheidende Rolle besonders für die allogene Erosions-karstenwicklung (JAKUCS, 1971). Nachdem die morphometrischen Eigenschaften dieser Wasserspeichergebiete zu vermessen sind, ergibt sich also die Möglichkeit auch für die quantitative Berechnung der hier ablaufenden Karstdenudation: Die

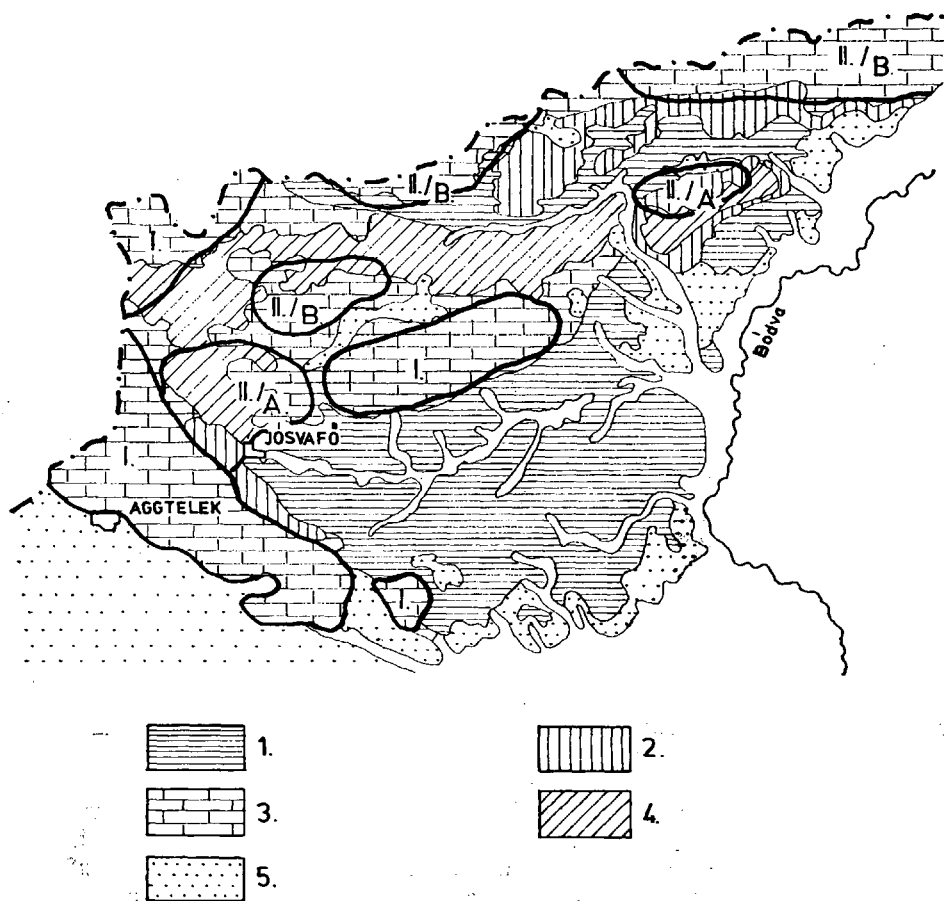


Abb. 1. Geologische Skizze des Gebirges Aggtelek und line Dolinentypen

- 1 — Untertrias (campili) Kalkstein, Tonschiefer
- 2 — Unteranisis (Gutenstein) Kalkstein, Dolomit
- 3 — Kalkstein Wetterstein
- 4 — Dolomit Wetterstein
- 5 — Pliozänablagerungen
- I — Reihedolinen
- II — Plateaudolinen
- a) Dolomittyp
- b) Kalksteintyp

Klassifizierung der Wasserschlänger nach Ordnung ermöglicht auch die Bestimmung der Ordnungszahlen der allogenen Höhlen, die sich genetisch an sie knüpfen. Die Annäherung der Ordnung der allogenen Höhlen solcher Richtung beseitigt auch die in Einführung angegebenen Probleme.

Die Trockentäler, die dem System von HORTON—STRAHLER nach natürlichere Bestandteile eines Karstgebietes wären, sind dafür nicht geeignet wegen der

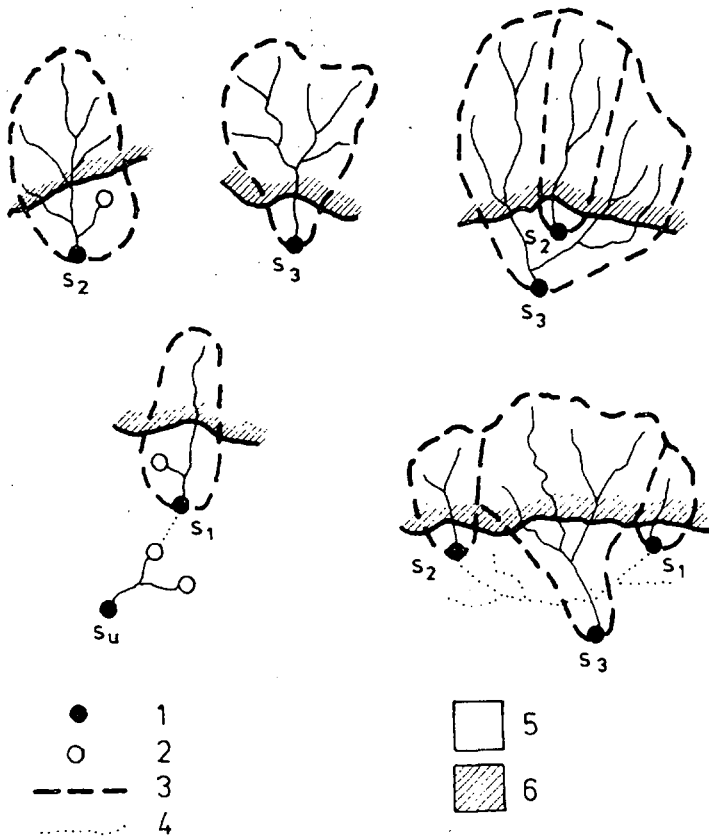


Abb. 2. Klassifizierung der an den Karstrand anpassenden Wasserschlänger nach Ordnung (WILLIAMS, nach 1975)

- 1 — Wasserschlänger
- 2 — Quelle
- 3 — Wasserscheide
- 4 — Trockental
- 5 — Kalkstein
- 6 — Nicht karsthaltiges Gestein

bedeutenden genetischen, morphologischen usw. Unterschiede. (Bei dem autogenen Karst werden sie für die Bestimmung der Ordnung der sich an sie knüpfenden Wasserschlänger verwendet.)

Die erkannten Zusammenhänge über die Ordnung des Wasserlaufes sind für die Ordnung der Wasserschlänger analogisch zutreffend, d.h.: zwischen der Ordnungszahl und dem durchschnittlichen Gebiet der Wasserschlänger, sowie zwischen der mittleren Distanz voneinander (L_{su}) bei den Wasserschlängern gleicher Ordnung besteht eine exponentiale Beziehung (WILLIAMS, 1966). Die Klassifizierung nach der Ordnung durchgeführt, stellen wir die Stelle (K_r) jeder Karstquelle in unserem Gebiet, fest deren absolute Größe (H_r) und die Distanz von der nächst-

gelegenen Quelle (L_r). Der Zusammenhang unter diesen Parametern wird von uns auf Abb. 3. im Falle eines Karstes eine Art allogenen Typs dargestellt.

Diese Kennziffer verwendend stellen wir einige Parameter des Karstwasserspeichers vor, die wir bei der vergleichenden morphogenetischen Untersuchung, bei der Typisierung der Karstgebiete gebrauchen können (WILLIAMS, 1975). Die Wasserschlingerichte wird mit dem Wert $D_s = \frac{\Sigma S}{A_1}$ (wobei ΣS die Zahl der Wasserschlinger, A_1 die Größe des untersuchten Gebietes ist) angegeben. Nach La VALLE (1967) bestätigt die Verringerung der Zahl der Wasserschlinger, die auf ein Einheitsgebiet fallen, der Entwicklungsstand des Gebietes. Auf gleiche Weise wird auch die Zahl der Quellen, die auf ein Einheitsgebiet fallen, von uns angegeben ($D_r = \frac{\Sigma K_r}{A_1}$, wobei ΣK_r auf die Zahl der Quellen hinweist). Der Quotient der Wasserschlinger Quellen $\left(R = \frac{\Sigma S}{\Sigma K_r} \right)$ weist auf die Größe der Ausdehnung des Stromes unter der Oberfläche hin. Wir stellten die Gesetzmäßigkeit fest, daß der Wert R im Falle des autogenen Karstes (A-Typ) kleiner ist als 1, im Falle des allogenen Erosionstyps (B-Typ) aber größer oder gleich 1 ist. Das ist damit zu erklären, daß das Erosionskanalnetz des Typs B nicht nur durch die Wasserschlinger der Konvergenzzone ernährt wird, sondern auch durch andere Wasserschlinger des Karstraumes. Zugleich werden alle Karstquellen in der Divergenzzone nur im Fall einer größeren Wassermenge mobilisiert. Die Kompliziertheit und Entwicklung des Wasserlaufnetzes unter der Erdoberfläche kann so charakterisiert werden, daß die geradlinige Distanz des Wasserschlingers und der nächstgelegenen Quelle oder des Flußbettes (oder ihr Durchschnitt) ins Verhältnis zur wirklichen Länge gestellt wird (d.h.: $F = \frac{L}{L_u}$).

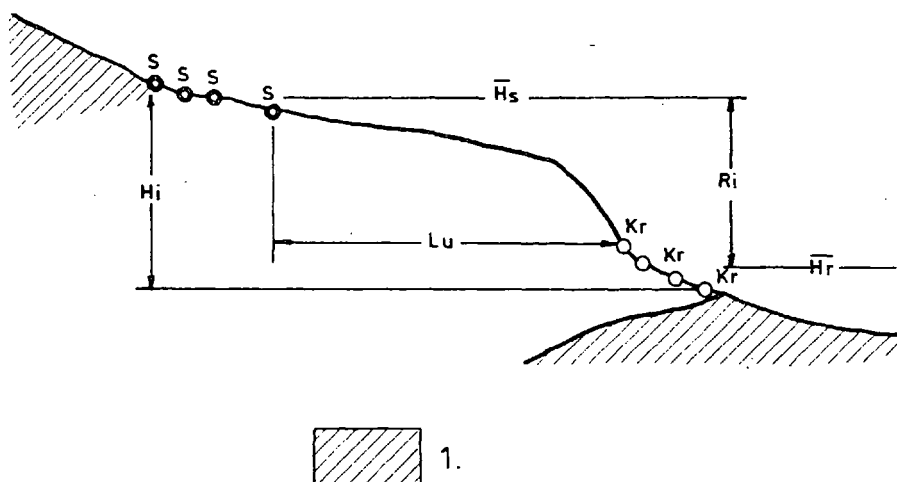


Abb. 3. Einige allgemeine karstmorphometrische Parameter (nach WILLIAMS, 1975)
1 — Nicht karsthaltiges Gestein

Der Unterschied der durchschnittlichen Höhe bei den Wasserschlingern und bei den Quellen ist das relative Karstrelief ($R_i = H_s - H_r$). Das bedeutet das hydrostatische Gleichgewichtsniveau (Grenze der Einsickerungszone), das letztens durch H_r (absolute Höhe) bestimmt ist und nach der Entwicklung unter der Oberfläche, Struktur, Litologie verändert wird. Wenn wir über weitere hydrologische Angaben verfügen, so können wir auch weitere Parameter verwenden. Die Kennziffer werden immer vom Untersuchungsziel und Charakter der Oberfläche bestimmt. Es muß aber darauf geachtet werden, daß sie gut definiert sein und die quantitative Erfassung der Beziehungen ermöglichen sollen.

Unter den Mikro- und Mesoformen der Karstgebiete ist die Doline allgemeiner Ausbreitung zweifellos die am besten charakteristische Eigenartigkeit. Viele Verfasser werteten von verschiedenen Gesichtspunkten aus die Dolinen. WILLIAMS und LA VALLE arbeiteten die wichtigsten Grundlagen für deren morphometrische Charakterisierung aus, aber auch sie verwendeten ihre Ergebnisse zur Lösung der genetischen Fragen nicht. Die morphometrische Charakterisierung der übrigen, von uns jetzt nicht dargelegten Mikro- und Mesoformen — wie z.B. die Karr, Wasserschlinger, Karstschlote usw. — wird noch zur Lösung zahlreicher genetischer Fragen beitragen können.

Die bei der genauen Vermessung der Dolinen erzielten Ergebnisse wurden von uns zwei Gesichtspunkten aus gebraucht. Einerseits zur Anfertigung eines Modells für Dolinenentwicklung zur Untersuchung der charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Dolinen, andererseits zur Differenzierung von Dolinentypen. Es war eine schwere Aufgabe, die in die Analyse einbezogenen Dolinen zu umgrenzen, denn das anschließende Wasserspeichergebiet, aus welchem entstandener Niederschlag an der Entwicklung der Doline teilnimmt, kann nicht in jedem Fall mit der Doline in genetischem Sinn identifiziert werden. So haben wir das zu vermessende Gebiet der Dolinen — wegen praktischer Gründe — in jedem Fall bei der zutreffen proportionellen Winkelwertverringern der Hangneigungen in verschiedenen Richtungen angegeben (Abb. 4.).

Zuerst untersuchten wir das Verhältnis der Verlängerung bei den Dolinen (Verhältnis des größten und kleinsten Durchmessers) und deren Orientierung (Azimut der längeren Achse der Doline) (Abb. 4.). Die Orientierung spiegelt das Verhältnis der Entwicklung der Depression zu den strukturellen Richtungen ab. Etwa 78% der Dolinen (64 St.) im untersuchten Gebiet (bei Abweichung von 5°) entspricht den im gegebenen Gebiet vermessenen Tektonik-, Bruchs- und Spalterichtungen. Beherrschend sind die Richtungen NNO-SSW, O-W und die bei der geologischen Entwicklung mehrmals erneuerte Richtung N-S. Nach Ergebnissen der Regressionsanalyse von LA VALLE (1967) bestehen die zwei wesentlichsten Faktoren für Orientierung der Dolinen: die Sauberkeit des Kalksteins, genauer handelt es sich um das durchschnittliche Prozent des unlöslichen Restes und der Prozentsatz des durch Wasserabflüsse unter der Oberfläche entwässerten Gebietes. (Die einfachen Korrelationskoeffizienten betragen $-0,66$ und $+0,25$.) Das Verhältnis und das Maß für Verlängerung der Dolinen hängen von der Veränderung der geologischen, hydrologischen und lokalen Elemente der Landschaft ab. Für die Verlängerung hat die strukturelle Präformation zweifellos die wichtigste Rolle. (Nach LA VALLE ist ihr Korrelationsverhältnis $0,92$). Darunter verstehen wir, daß sich der längere Durchmesser der Depressionen parallel mit den Brüchen oder Spalten anordnet. Die wirksamste Einsickerung verursacht eine Zeitlang wirksamere Korrosion bzw. inten-

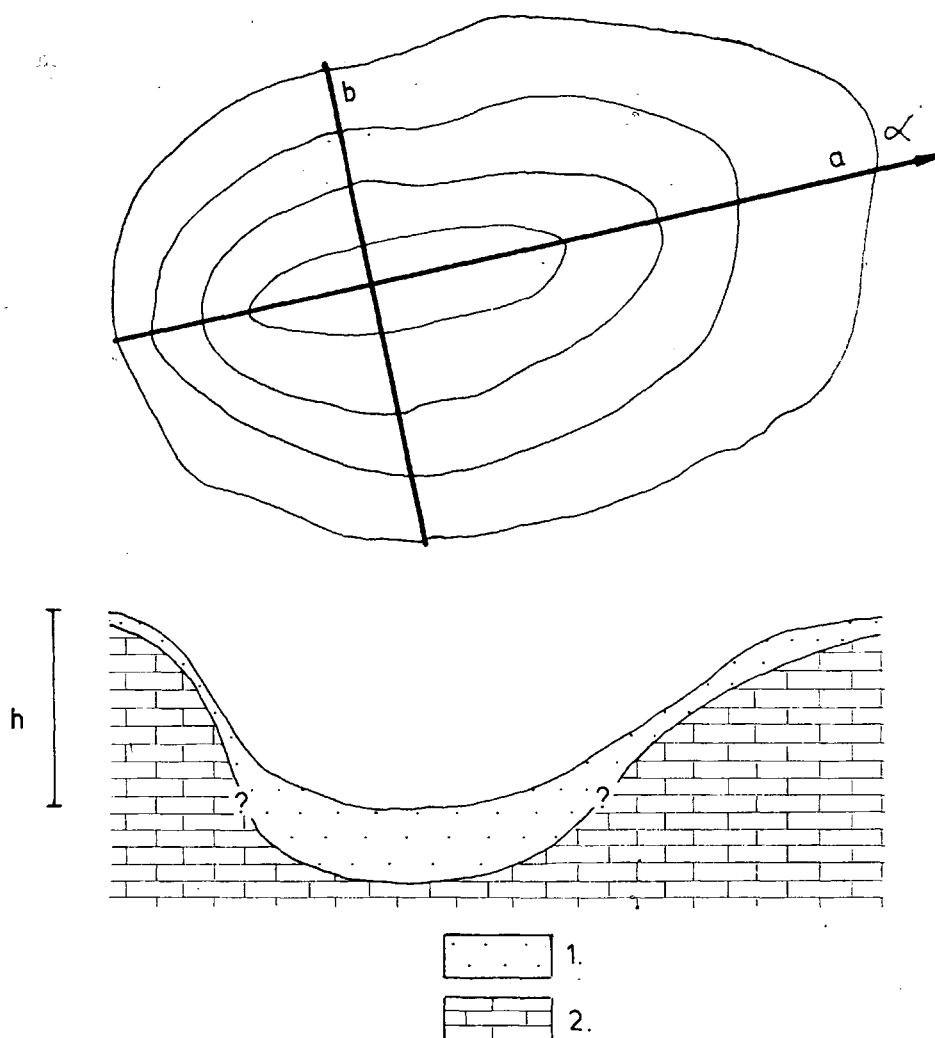


Abb. 4. Charakteristische morphometrische Kennziffer der Dolinen. — Orientierung (Azimut),

a) Großachse

b) Kleinachse

h) Tiefe

1 — Witterungsdecke

2 — Karsthaltiges Gestein

Verlängerungsverhältnis $\frac{a}{b}$

Reliefverhältnis $\left(\frac{2h}{a+b} \right)$

sivere Karstentwicklung (MELTON 1934; SCHEIDEGGER, 1961). Wir sind aber überhaupt nicht einverstanden mit dem Standpunkt von LA VALLE (1967), der meint, die Rolle der Klimafaktoren sei nicht significant. Nach unseren früheren, eingehenden Untersuchungen in solche Richtung entwickeln sich verschiedenartige Feuchtigkeitsverhältnisse, Temperaturen und demgemäß Ökologieverhältnisse auf den verschiedenen Expositionen der Doline und dementsprechend muß man auch in den einzelnen Expositionen mit Karstkorrosion verschiedenen Wirkungsgrades rechnen. Das wird auch durch die von uns gewonnenen Werte für die Verlängerungsverhältnisse unterstützt, indem wir auch bei den tektonisch stark präformierten Dolinen der Hangneigung in nördlichen und westlichen Expositionen treffen. Diese Wirkungen in unserem Gebiet nach Angaben zu analysieren ist eine sehr schwere Aufgabe, weil diese Wirkung einerseits das Verhältnis vermindert (z.B. im Fall der N-S Orientierung), andererseits aber es vergrößert (bei der O-W Orientierung). Wir stellten fest, daß die Uvala in unserem Gebiet durch ein Verlängerungsverhältnis größer als 1,75 charakterisiert sind, Ausnahme können eventuell die zirkulären Uvala, entwickelt an der Kreuzung der Bruchs- bzw. Spaltenlinien, bilden. Nach KIKNADZE (1972) können auch andere lithologische Faktoren (z.B. die Schichtung usw.) in der Orientierung und Verlängerung der Dolinen eine wichtige Rolle spielen. Im Gebirge Aggtelek bemerkten wir auch den Zusammenfall der Dolinen, Dolinenreihen und Gesteinsgrenzen (z.B. Grenze der Kalksteine Gutenstein und Wetterstein) bzw. der Faziesgrenzen (SCHOLTZ, 1972). Von der Wahrheit unserer erwähnten These wurden wir auch durch die Untersuchung der Hangneigungsverhältnisse im Inneren der Doline überzeugt.

Das Reliefverhältnis der Dolinen kann mit einem Tiefe durchschnittlicher Durchmesser-Quotienten gemessen werden, wie es schon auch von CVIJC durchgeführt wurde. JENNINGS (1971) erhielt im Mustergebiet von Neuseeland bei morphometrischer Analyse von 94 Dolinen den Korrelationswert 0,84. Unsere Untersuchungen weisen darauf hin, daß die Beziehung solchen Charakters in diesem Fall gerade die Details mit wichtigem genetischem Gehalt "verschwinden" läßt. Wir bekamen zum Ergebnis, daß das Reliefverhältnis der tektonisch gerichteten Reihedolinen kleiner ist (im allgemeinen ein Wert unter 0,1) als das der "plateaugelegenen", oder der tektonisch nicht gerichteten "angeordneten" Dolinen (Werte über 0,1). Der hier vorkommende scheinbare Widerspruch — man könnte hier erwarten, daß tiefere Dolinen im Gebiet mit tektonischer Wirkung größeren Umfangs vorkommen — scheint für uns folgenderweise gelöst zu werden. Die Reihedolinen der gemäßigten Zone — tektonisch präformierte Spalten, oder sie können frühere Flußtäler einnehmen — sind wirksamerer Entwicklung (intensivere Einsickerung usw.), als die einzelnen Plateaudolinen. Mit der Zeit aber hinderte eventuell auch hemmte die von den Seiten abgewaschene lehmige Witterungsdecke ihren Vertiefungsprozeß, ihre Ränder wurden allmählich niedriger, sind selten zu Uvala geschmolzen. Die Plateaudolinen dagegen konnten wegen ihrer verhältnismäßig langsamen Entwicklung ihr größeres Reliefverhältnis für längere Zeit bewahren.

Im weiteren möchten wir darlegen, wie weit die Veränderung der zur Karstierung vorhandenen Oberfläche auf die Entwicklung der Doline zurückwirkt. Das ist natürlich nur bei den durch Lösung entstandenen Dolinen möglich, denn die Einsturzdolinen oder die Abgrunddolinen weisen auf die Auflösung des Gleichgewichts der Kraftwirkungen im Höhlengewölbe, aber die Lösungsdolinen entwickeln sich unter gemeinsamer Wirkung der Klima-, Pflanzen- und Bodenfaktoren. (Diese beiden

letzten Typen gestalten sich unserer Meinung nach nicht durch die Entwicklung der für die Dolinen charakteristischen Wirkungsfaktoren aus). Wir verwendeten die folgende Methode: nehmen wir die Oberfläche der Doline als Kugelkappe (Abb. 5.)! Demzufolge können wir die Oberfläche für die Korrosion mit der folgenden Formel bezeichnen: $A = \pi/2(Q^2 + m^2)$, wo Q den mittleren Durchmesser der Doline, m die durchschnittliche Tiefe bezeichnet.

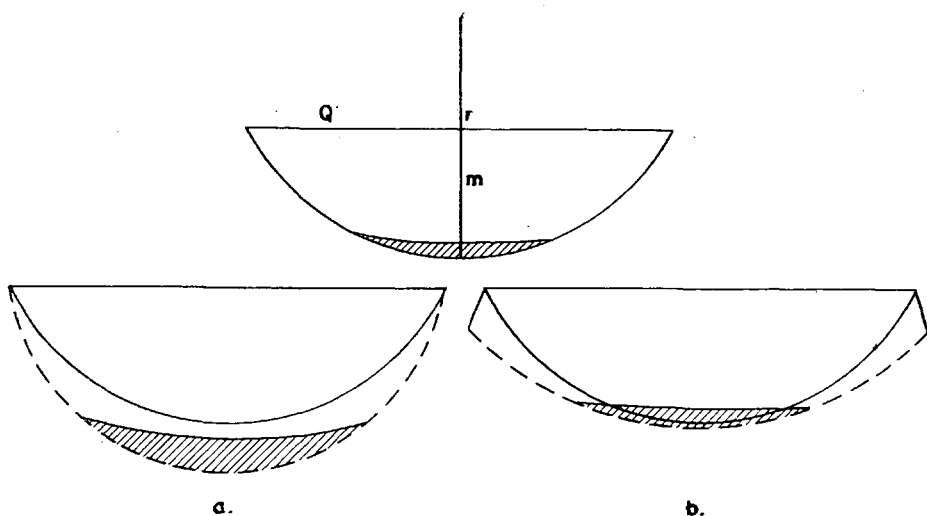


Abb. 5. Entwicklungsrichtungen der Dolinen unter gemäßigten, mediterranen (b) und tropischen (a) Verhältnissen.

Die Veränderung der Oberflächengröße der Dolinen muß in erster Erfassung in zwei Gebieten behandelt werden: a) kontinental, mediterran und b) tropisch, subtropisch (Temperatur pro Jahr über 17–18 °C, Niederschlag pro Jahr über 1200 mm). Es ist bekannt, daß die Lösungswirkung im Inneren der Dolinen nicht überall von gleicher Intensität ist. ZÁMBÓ (1971) und BÁRÁNY (1975) wiesen bei ihren Untersuchungen darauf hin, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Bodenmächtigkeit und der Größe der Karstkorrosion besteht. Dieser Faktor ist besonders wichtig in den tropischen Gebieten. Solange der Boden nicht großer Mächtigkeit die Karstkorrosion indirekt fördert, verhindert der Boden sehr großer Mächtigkeit (hauptsächlich auf dem Grund der Dolinen zusammengewaschen) stark wegen der Impermeabilität des Rotlehms. Da wird die Lösung am Rande der Doline am wirksamsten sein. So geht die Entwicklung der Dolinen in den kontinentalen Gebieten vielmehr zur Erweiterung als zur Vertiefung, während die absolute Höhe der Oberfläche bzw. des Sattels unter den Dolinen vermindert wird (Abb. 5/b.). In den Tropen kann die wesentlich größere areale Erosion auf dem Grund der Dolinen bedeutende Menge von Boden zusammentragen, das fördert die intensive Vertiefung (Korrosionsvergrößerung), d.h. die Vergrößerung der Reliefenergie (Abb. 5/a.).

Gehen wir vom Ausmaß einer Doline mit mittlerem Durchmesser 100 m,

durchschnittliche Tiefe 15 m aus. Ihre Oberfläche ist etwa 7400 m². Charakteristisch ist für die Tropen, daß schon eine Vertiefung von etwa 2—2,5 m eine Vergrößerung von 500 m² ergibt, was sich dann in Wirkungen weiterringelt. Dieser Prozeß dauert solange, bis die Oberfläche bis zur Erosionsbase denudiert und die Landschaft durch den Kegel- und Turmkarst und durch die unter ihnen gelegenen Ebenen geprägt wird. In den kontinentalen Gebieten gibt es zwei Möglichkeiten, in Betracht genommen, daß einerseits eine dicke, lehmige Schicht auf dem Grund der Doline oft die Vertiefung stört, andererseits das ziemlich stabile Verhältnis des Durchmessers der Tiefe (das bedeutet ungefähr eine Erweiterung von 10 m). Die Größe des Karstgebietes kann zwischen 6700 und 7700 m² verändert werden und das bedeutet in einem Fall (unter 7400) die Konservierung der Form, um anderen Fall aber die langsame Vergrößerung (über 7400).

Zur Differenzierung der Dolinentypen ist es am zweckmäßigsten zuerst die Anzahl der Dolinen und deren Zusammensetzung festzustellen. In unserem Gebiet (Abb. 1.) differenzierte JAKUCS (1964) 3 Dolinentypen vor allem auf orographischer Grundlage. Diese 3 Gruppen wurden vom morphometrischen Gesichtspunkt aus aufgrund der folgenden 3 Kennziffer untersucht:

1. Zahl der Dolinen auf 1 km² — Dolinendichte.
2. Prozentsatz des Gesamtgebietes der Dolinen, verglichen mit der Größe der gegebenen Karstoberfläche (Der von WILLIAMS verwendete Pittingindex (index of pitting) ist dessen reziprok).
3. Das durchschnittliche Gebiet der Dolinen.

Tabelle 1.

	I. Typ der Reihendolinen	II. Typ der „Plateaudolinen“	
		a) dolomitisch	b) kalksteinig
Dolinendichte St/km ²	11—13	32—36	7—9
Gesamtfläche der dolinen in % der Karstoberfläche	23	32	31
Durchschnittliche Fläche der Dolinen/km ²	0,01	0,002	0,016

Unsere Ergebnisse sind auf Tabelle 1. zusammengefaßt. Beim ersten Typ fanden wir den Parameter „Das durchschnittliche Gebiet der Dolinen“ nicht für charakteristisch wegen des häufigen Vorkommens der Uvala. Wenn wir nur die Dolinen in Betracht nehmen, so ist der Durchschnittswert 0,01.

Auf morphometrischer Grundlage können also diese 3 Gruppen gut differenziert werden. Auf Grund der Resultate der quantitativen Untersuchung war es begründet, die genetischen Typen zu verändern. Eine Grundlage dafür ist die relative Übereinstimmung der morphometrischen Parameter bei den Typen II/A und II/B. Der Typ I. ist ein Typ der am allogenen Karst entwickelten Reihendolinen. Die anderen zwei Gruppen können als genetisch gleicher Plateautyp betrachtet werden, beide entwickelten sich entscheidend am autogenen Karst. Ihre Unterschiede am Ausmaß

sind durch lithologische Gründe gut zu erklären, der *Typ II/A* entwickelte sich vor allem auf Dolomit, bis der *Typ II/B* auf Kalkstein (Abb. 1.).

In unserer Arbeit gaben wir einige einleitende Ergebnisse der quantitativen Karstuntersuchung im Mikro- und Mesoraum in Ungarn bekannt. Unsere Untersuchungen werden in 2 Richtungen weiter durchgeführt. Einerseits in Richtung der vergleichenden Analyse der verschiedenen Karstgebiete aufgrund der Ergebnisse der ausführlichen Geländeaufnahmen, andererseits wünschen wir die Wirkungsintensität der einzelnen Karstkorrosionsfaktoren quantitativ zu bestimmen.

LITERATUR

- I. Bárány (1975): Role of soil temperature in control of denudation processes of different exposures in karstic regions. *Acta Geogr. Tom. 15. I—X.* pp. 35—44.
- I. Bárány—G. Mezősi (1977/a): Interrelation of some factors of karstkorrosion in a doline in the Bükk Mountains, Hungary, *Proceedings of the 7th International Speleological Congress, Sheffield 1977.* pp. 20—22.
- I. Bárány—G. Mezősi (1977/b): Angaben über die bodenökologischen Verhältnisse der Karstdolinen. *Földr. Ért. (Geogr. Bull.) 1977. 4.* (In Erscheinung.)
- L. Jakucs (1964): Geomorphologische Probleme im Karstgebiet Észak-Borsod. *Borsodi Földr. Évkönyv (Geogr. Jahrbuch Borsod) 5.* pp. 1—12.
- L. Jakucs (1971): Morphogenetik der Karste. *Akadémiai Kiadó (Akademischer Verlag) Budapest.*
- J. N. Jennings (1971): Karst, *Austr. Nat. Univ. Press. Canberra* pp. 114—136.
- T. Z. Kiknadze (1972): Carst du massif Arabica, *Tbiliszi.* p. 243.
- P. La Valle (1967): Some Aspects of Linear Karst Depression in South Central Kentucky. *Annales of the Ass. of Am. Geogr. 57. 1.* pp. 49—71.
- P. La Valle (1968): Karst Depression Morphology in South Central Kentucky. *Geogr. Annales 50. A.* pp. 94—108.
- G. Scholtz (1972): An Anisien Wetterstein Limestone Reef in North Hungary, *Acta Miner. Petr. Szeged, XX/2.* pp. 337—362.
- P. W. Williams (1975): The Geomorphic Effects of Ground Water, in: Chorley: *Introduction to Fluvial Processes, Methuen Ltd.* pp. 108—123.
- P. W. Williams (1966): Morphometric analysis of temperate karst landforms, *Irish Speleology 1.* pp. 23—31.